

リアルタイム組込みシステムにおける 群制御及びデジタルツイン機能を活用した実証実験

令和3年度「産業技術実用化開発事業費補助金(次世代ソフトウェアプラットフォーム実証事業)」

1 総括

株式会社アクセス (一社)組込みシステム技術協会

当協会と会員企業6社は、群制御機能およびデジタルツイン機能を実装したリアルタイム組込みシステムを構築し、各種の実証実験によって有効性を検証した。本稿では概要を紹介する。

プロジェクトの全体構成と、当協会と会員企業の役割分担を図1-1に示す。各社は、プラットフォームおよびエッジクラウド、映像音声技術、OpenELの拡張、デジタルツイン、遠隔制御技術の開発などをそれぞれ担った。プロジェクトの期間は2021年7月から2022年2月。プロジェクトを通して、会員企業から6件の特許と1件の意匠が出願された。

分散クラウドのリアルタイム性と管理効率を高める

現在、IoTデバイスなどユーザー端末からは大量のデータがインターネットを介してクラウドに送られている。IoTシステムに対するユーザーニーズの多様化や、センサーの性能や機能の向上、IoTデバイス(センサー)数そのものの増大などによ

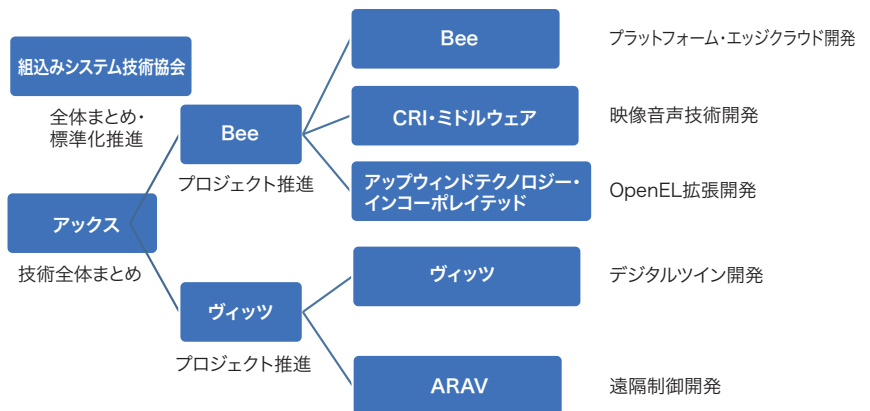


図1-1 プロジェクトの構成と体制図

て、こうしたデータは日増しに増えている。この傾向は今後も続くと考えられる。

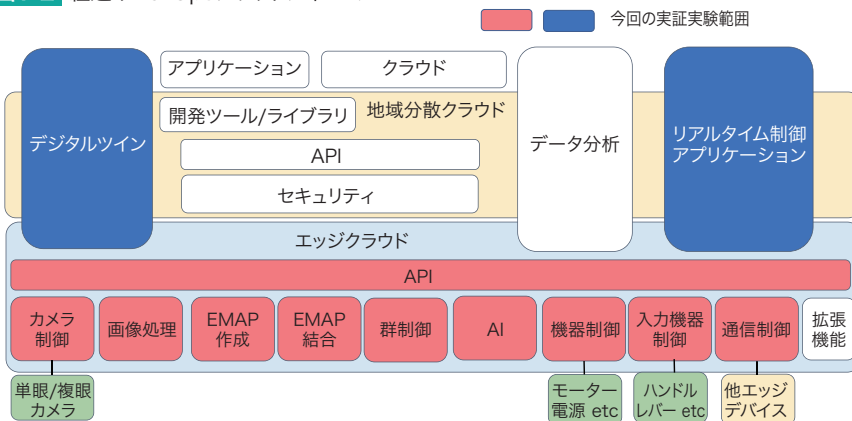
ここで問題になるのが、データ量の増加に伴う負荷の増大、クラウドとのデータ送受信に伴う通信遅延、クラウドでのデータ処理に伴う遅延、端末(センサー)数の増大に伴う管理効率の低下である。こうした課題に対応するのが「分散クラウド」である。クラウドをエッジクラウド、地域分散クラウド、クラウドの3層構造にして分散配置することで、IoT端末からクラウドに至るまでの経路におけるボトルネックを解消し、リア

ルタイム性のある処理を可能にする。

本プロジェクトは、大きく2つのプロジェクトから成る(図1-2)。一つは、分散クラウド環境上にAIを活用した群管理プラットフォームを構築する実証実験プロジェクトである(図1-2の赤色部)。エッジクラウド上で、大量のIoTセンサーやロボットなどを群として制御する。もう一つは、現実世界の状況を仮想空間上にリアルタイムに再現する組込みシステムの実証事業プロジェクトである(図1-2の青色部)。デジタルツイン環境を構築し、現実世界をシミュレーションすることでエッジクラウドにおけるデータ量を減らす。

こうした2つのシステムを「組込みDevOpsプラットフォーム化」することで、より大規模なリアルタイム組込みシステムを容易に実現することが可能になる。「ドローンの群管理制御による写真、地図作成ソリューション」「デジタルツイン活用のスマート工場の生産性向上ソリューション」「5Gを活用した重機器、農機具の遠隔操作ソリューション」といったビジネスへの展開を想定する。

図1-2 組込みDevOpsプラットフォーム



分散クラウドにおける、AIを活用した 群管理エッジプラットフォームの研究実証実験

株式会社Bee 株式会社CRI・ミドルウェア アップウインドテクノロジー・インコーポレイテッド

複数のIoT端末を群管理することでエッジクラウドを実現する技術を開発し、その有効性について実証実験を行った。群管理は、IoT端末のピアツーピア制御とリアルタイムの同報配信の実装によって実現した。組み込みDevOpsプラットフォーム(図1-2)では赤色の部分に該当する。以下、概要を報告する。

複数IoT端末を群制御し、 エリア地図を動的作成

実証実験にあたって、単眼カメラを搭載したIoT端末を群管理することで、エリア地図(以下EMAP)を動的に生成するEMAPプラットフォームを開発した。EMAPプラットフォームの特徴は、事前に正確な地図を用意することなく、地形の変化にリアルタイムで対応可能な点や、GPSやインターネットにアクセスができない状況でも地図を生成できる点である。

EMAPプラットフォームは複数のIoT端末を群管理することでエッジクラウドを形成する。エッジクラウドは親となる「親端末」と親端末につながる「子端末」から成る。親端末と子端末がやりとりをして正確なEMAPを動的に生成する(図2-1)。

まず子端末はカメラ映像に対して解像度の変更や歪み補正を行うとともに、自己位置推定と地図作成を同時に実行するオープンソースのSLAM「OpenVSLAM」を用いてEMAPを生成する。子端末は生成したEMAPを親端末に送信する。親端末は受け取ったEMAPを補完・結合してできた新たなEMAPを子端末に送り返す。子端末は受け取ったデータで自らの持つ

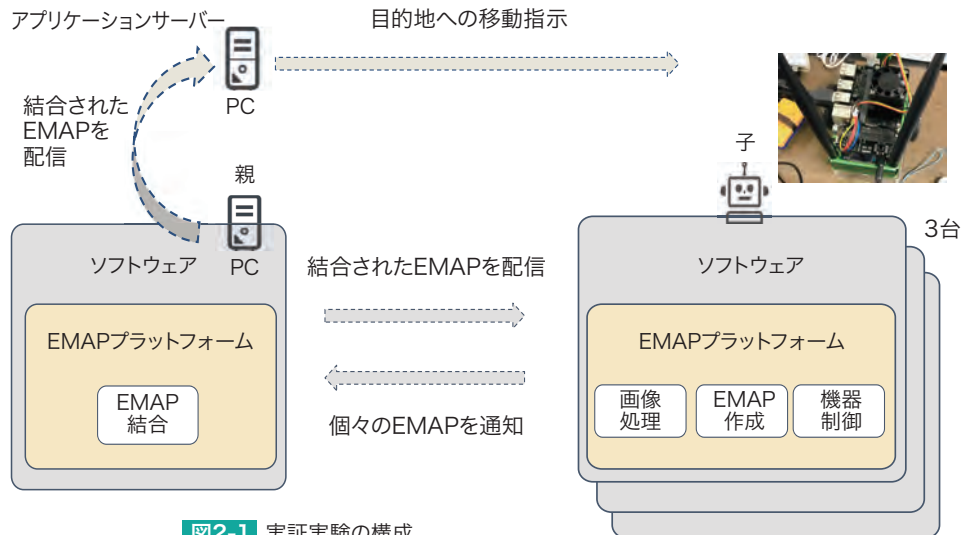


図2-1 実証実験の構成

EMAPを更新する。

こうすることで、地域分散クラウドやクラウドを介することなく、エッジクラウドだけでEMAPの更新を低遅延で行うことが可能になる。なおクラウド上のアプリケーションサーバーは、エッジクラウドからEMAPを受け取り未探索地域に移動するように子端末に指示を出す。こうして漏れのないEMAPを作成できる。

実証実験には、子端末にJetson Nanoを使ったAI自律走行車「JetBot」、親端末とアプリケーションサーバーにパソコン、カメラにソニーのIMX219-160を用いた。Wi-Fiを介した端末間の通信はROS2のPub/Sub方式で行った。JetBotのモーター制御とバッテリー電圧のモニター機能を実装するために、OpenELを拡張した。カメラ画像の解像度は、処理負荷の大きさと認識精度を考え512×288画素に設定した。この場合、RAWデータで432Kバイト、JPEGデータで46Kバイト、EMAPで18Kバイトとなり、通信データの低減を確認できた。

エッジクラウドをオンデマンドで形成

群制御として、結合EMAPの未探索エリアに子デバイスを向かわせるアプリケーションを開発した。未探索のセルに隣接する探索済みセルをフロンティアエッジセル(X)と呼ぶ。未探索エリア抽出アルゴリズム「Frontier-Based Exploration」によってXのリストが抽出される。エッジデバイスの自己位置から近い順にソートを行い、リストの先頭へ移動を指示する。デバイスの周囲24セルは他のデバイスが近づかないように指示を出すことで、衝突や同じセルへ移動することを防ぐ。

実証実験の結果、AIなどを使った画像認識、単眼カメラによる自己位置推定と地図作成、複数のエッジデバイスで特徴点を抽出した情報からEMAPを作成できることを確認した。

今後の課題としては、以下が残った。EMAP作成では複眼・深度カメラを使ったSLAMの実行である。SLAMの再検討も必要と考える。EMAP結合では角度の補正アルゴリズムの検討と実装、エッジ端末による結合の実行などである。

参考文献 1) 未探索エリア抽出アルゴリズム「Frontier-Based Exploration」,
<http://web.archive.org/web/20200218053936/http://robotfrontier.com/frontier/detect.html>

現実世界の状況をリアルタイムに 仮想空間に再現する実証実験

株式会社ヴィッツ ARAV株式会社

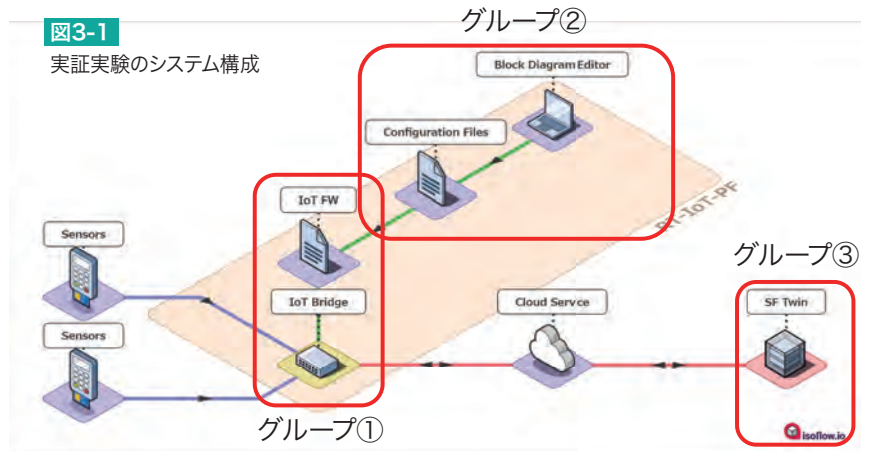
工場や建設現場といった現実世界の状況を仮想空間にリアルタイムで再現するデジタルツイン技術の実証実験をエッジクラウド環境で行い、有効性を確認した。サイバー空間で現場をリアルタイムで見える化し、危険予測による安心・安全の担保や現場作業の効率化を支援する。今回の実証実験は、図1-2の組み込みDevOpsプラットフォームにおける青色の部分に該当する。実証実験によって、デジタルツインのシミュレータ上で、①事前の作業計画、②実稼働とシミュレータの差分からの危険予測、③稼働時の近未来の予測による緊急停止などの効果を確認することができた。

建機を使って実証実験

実証実験に用いたシステム構成を図3-1に示す。①～③のグループに分けてデジタルツインプラットフォーム「RT-IoT-PF」を開発し、実証実験を行った。開発にあたっては、100ms以内の応答速度をもつエッジクラウド、優先度付き帯域制御で100Mbpsの性能をもつIoTブリッジの実現を目標に置いた。また機能要件として、4Kカメラの4台同時接続(排他)、3D LiDARの2台同時接続(排他)、4Kカメラ2台と3D LiDAR1台の同時接続(排他)を想定した。

グループ①がカバーするのは、エッジクラ

図3-1 実証実験のシステム構成



ウドを構成するハードウェア(図3-1のIoT Bridge)とソフトウェア(同IoT FW)である。ハードウェアにはサーバーAIR-300(Advantech製)とRaspberry Pi4を使った。センサーからのデータをエッジクラウドで処理するとともに、クラウドとセンサーデータを送受信するためのブリッジの機能を果たす。IoT FWはブリッジ機能を実現するソフトウェアで、優先度付きの動的配信機能を備える。カメラを使った物体検知と位置情報取得にはYOLOv5を用いた。併せてStereolabs製のステレオカメラZEDとROS2 Wrapperを組み合わせた検証も行ったが、結果に大きな差異はなく問題は生じなかった。

グループ②が担うのはユーザーインタフェースに関係した部分である。グループ①で開発したIoT FWを動作させるための設定ファイル「Configuration Files」を生成するGUIツール「Block Diagram Editor(BDE)」を開発した。マウスによるアイコン操作と数カ所の数値入力で、データの入出力、処理内容、センサーの個数と種類、センサーとIoT Bridgeの接続関係などを定義できる。将来的には標準ライブラリの装備とともに、ユーザー自身がライブラリを開発できる仕組みを用意する予定で

ある。ユーザーにライブラリ作成を開放するのは、多くのユーザーを巻き込むことで応用範囲を広げるためである。

グループ③は仮想空間に工場や工事現場の環境を再構成する技術を開発した。エッジクラウドからのセンサーデータや可動体データからデジタルツインを実現する。SF Twinと呼ぶソフトウェアと組み合わせ、現場の安全性の向上や効率化を支援する。例えば協働ロボットの遠隔操作を実現するデジタルツインでは、クラウドにDell製のPowerEdge R340、エッジクラウドにRT-IoT-PF(AIR-300)の構成で、最大4台の協働ロボット(JAKA Zu7)を同時接続し遠隔制御できることを確認した。PowerEdge R340には最大6つのエッジクラウドを同時接続可能である。

図3-2にデジタルツインを用いて建機を遠隔操作する実証実験を示す。建機から周辺を撮影したデータはエッジクラウドで処理され、建機周辺の環境データを軽量化する。デジタルツインのシミュレーション結果と周辺環境データを組み合わせ、ディスプレイに表示し、建機の遠隔操作を行う。



図3-2 デジタルツインで建機を遠隔操作